

Jörn Reinders

Dr. sc. hum.

## **Entwicklung eines Verfahrens zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von künstlichen Gelenken des oberen Sprunggelenks**

Fach/Einrichtung: Orthopädie

Doktorvater: Priv.-Doz. Dr. sc. hum. Jan Philippe Kretzer

Die Endoprothetik des oberen Sprunggelenks erreicht nicht die guten Ergebnisse der Hüft- und Knieendoprothetik. Die Grenzen der Sprunggelenkendoprothetik zeigen sich in vergleichsweise hohen Versagensraten, wobei die Revisionsursachen häufig in Zusammenhang mit dem Verschleiß der Endoprothese gesehen werden können. So stellen häufig späte, verschleiß-assoziierte Lockerungen, osteolytische Zysten oder starker makroskopischer Verschleiß (Brüche oder massiver Verschleiß des Polyethylen-Inlays) die Revisionsursache dar.

Trotz dieser Problematik liegen nur wenige experimentelle Untersuchungen zum Verschleißverhalten von Sprunggelenkendoprothesen vor. Methodisch weisen diese Untersuchungen zudem die Limitation auf, dass die Testungen in der klinisch weniger relevanten weggeregelten Testung durchgeführt wurden. Weiterhin ist eine Vergleichbarkeit der Daten aufgrund fehlender Standardisierungen der experimentellen Untersuchungen bisher nicht möglich. Die Entwicklung eines biomechanisch validen Verfahrens zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von Sprunggelenkendoprothesen stellt daher ein wichtiges Ziel der experimentellen Forschung dar, um die Qualität von Sprunggelenkendoprothesen möglichst frühzeitig bewerten zu können und so die Sicherheit für den Patienten durch präklinische Testungen zu erhöhen und gleichzeitig das Verständnis zu verbessern und die Entwicklung verbesserter Designs von Sprunggelenkendoprothesen zu ermöglichen.

Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines kraftgeregelten Verschleißprüfverfahrens, das eine biomechanisch validere Untersuchung des Verschleißverhaltens von Sprunggelenkendoprothesen erlaubt. Dies soll in Form einer kraftgeregelten Verschleißsimulation erfolgen. Hierzu wurden 1.) die Stabilisationseigenschaften des oberen Sprunggelenks untersucht 2.) eine kraftgeregelte Prüfvorschrift entwickelt, welche die aktiven Belastungen und Stabilisation des oberen Sprunggelenks berücksichtigt und 3.) das experimentelle Verschleißverhalten einer gängigen Sprunggelenkendoprothese untersucht.

Für die Messungen der passiven Stabilisation am oberen Sprunggelenk konnte ein Messaufbau entwickelt werden, der es erlaubt die isolierte Laxizität des oberen Sprunggelenks zu untersuchen ohne die Mobilität angrenzender Gelenke zu beeinträchtigen. Dieser Messaufbau wurde genutzt um in Messungen an humanen Fuß-Präparaten die Laxizitätseigenschaften des oberen Sprunggelenks zu bestimmen. Die Messungen können eine starke Stabilisation bei Aufbringung von IE-Drehmomenten und AP-Kräften durch die passiven Strukturen am oberen Sprunggelenk nachweisen. Diese ändern sich dynamisch in Abhängigkeit von der Flexionsposition und weisen eine starke interindividuelle Varianz auf.

Im zweiten Teil dieser Arbeit erfolgte die Entwicklung einer kraftgeregelten Prüfvorschrift zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von Sprunggelenksendoprothesen. Die Prüfvorschrift orientierte sich hierbei an der Nachbildung des Gehens in der Ebene als häufigste Belastungsart lasttragender Gelenke. Mit Hilfe ganganalytischer Untersuchungen des Heidelberger Ganglabors an Patienten mit Sprunggelenksendoprothese konnte die Hauptbewegung der Dorsal-Plantarflexion in klinisch valider Form bestimmt werden. Zusätzlich wurden die in der Literatur publizierter Belastungsdaten (invers-dynamisch Modelle) am oberen Sprunggelenk genutzt und anhand von *in vivo* Belastungsdaten von Hüft- und Kniegelenksendoprothesen quantifiziert um die aktiven Belastungen am oberen Sprunggelenk zu bestimmen. Diese kinematischen und kinetischen Belastungen wurden in drei Belastungsszenarien zusammengefasst, die sich an der klinischen Rehabilitation des Patienten orientieren. Basierend auf diesen Belastungsdaten wurden für jedes Belastungsszenario individuelle Bändermodelle entwickelt. Diese berücksichtigen die Stabilisationseigenschaften in drei-dimensionaler Art. Es wird die Stabilisation in Abhängigkeit von der Flexionsstellung im oberen Sprunggelenk, der Gelenkposition (Translation/Rotation) sowie der Belastung berücksichtigt. Durch die abschließende Definition von Randbedingungen für die Testung und deren technische Umsetzung wurde eine Basis für eine reproduzierbare Untersuchung des Verschleißverhaltens von Sprunggelenksendoprothesen erreicht.

Im letzten Teil dieser Arbeit erfolgte die Umsetzung des entwickelten Verschleißprüfverfahrens durch die Simulation des Verschleißverhaltens einer gängigen Sprunggelenksendoprothese für insgesamt 9 Millionen Belastungszyklen. Hierbei wird jedes Belastungsszenario für 3 Millionen Belastungszyklen untersucht. Es können klinisch relevante Verschleißarten durch die entwickelte Prüfvorschrift nachgebildet werden. Die Simulation resultiert in einer vergleichsweise hohen Kinematik der Rotation und besonders der Translation, die sich aber beide im Bereich von klinisch stattfindenden und ganganalytisch nachweisbaren Bewegungsumfängen bewegt. Als Hauptursache für die hohe Translation wird der verwendete niedrige tibiale slope in der Simulation gesehen. Zusammenfassend werden aber sowohl die Verschleißarten als auch die resultierende Kinematik als Nachweis gesehen, dass die gewählten Prüfbedingungen als klinisch valide zu bewerten sind.

Durch die Testungen kann ein vergleichsweise hoher Verschleiß am oberen Sprunggelenk nachgewiesen werden. Die untersuchten Verschleißpartikel zeigen zudem, dass eine sehr hohe Anzahl von Verschleißpartikeln freigesetzt wird. Diese weisen zumeist eine Größe auf, die sich innerhalb des als biologisch besonders reaktiv geltenden Bereiches befindet. Diese Ergebnisse deuten auf eine hohe und als kritisch zu bewertende Verschleißbelastung am oberen Sprunggelenk hin.

Das in dieser Arbeit neuentwickelte Prüfverfahren stellt eine biomechanisch valide Methode zur Untersuchung des Verschleißverhaltens von Sprunggelenksendoprothesen dar und kann daher als bedeutender Meilenstein für die zukünftige Entwicklung einer standardisierten Prüfnorm für Sprunggelenksendoprothesen gesehen werden.